

PERANCANGAN WATTMETER DIGITAL BERBASIS METODE *HYBRID*

Nabil Firdiyan Habiby, Endah Rahmawati

Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
nfirdiyan@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mempelajari respons pengukuran daya listrik dari dua jenis sensor yang memiliki metode pengukuran yang berbeda di mana metode yang digunakan ialah metode kontak dan non-kontak. Metode non-kontak pada penelitian ini menggunakan sensor arus berupa toroida yang memanfaatkan Hukum Faraday dengan rasio lilitan 1 : 350. Hasil kali arus dan tegangan disertai faktor daya menghasilkan besaran daya listrik terukur. Pengukuran faktor daya dilakukan dengan memanfaatkan sensor arus dan tegangan dengan membaca beda fasa antara keduanya. Metode non-kontak tersebut digunakan dalam penelitian ini karena metode tersebut memiliki kemampuan dapat mengukur beban listrik dengan nilai arus listrik tinggi. Tiap sensor yang terpasang memiliki nilai k dalam proses kalibrasi yakni untuk tegangan, arus dan faktor daya 146,78; 2,32; dan 1,23 secara berturut turut dari hasil kalibrasi. Beban yang telah diuji adalah beban resistif, induktif dan kombinasi. Hasil dari pengujian beban yang dibandingkan langsung dengan wattmeter metode kontak menunjukkan error dengan nilai besar didominasi pada pembacaan beban induktif di mana error terkecil ialah 7,0 % dan terbesar 10,2 %. Untuk pengujian pada beban resistif error yang didapatkan berkisar antara 2,0 % hingga 6,8 % dan pada beban kombinasi antara 4,3% hingga 6,7%. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa alat yang telah dirancang dengan metode tersebut dapat digunakan dalam melakukan pengukuran daya listrik namun kurang disarankan dalam pengukuran beban induktif. Tingkat sensitivitas sensor mampu ditingkatkan dengan memperbesar rasio kumparan sebagai sensor arus.

Kata Kunci: Wattmeter, Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya

Abstract

This study was conducted with the aim to study the electrical power measurement response of two types of sensors that have different measurement methods in which the methods used are contact and non-contact methods. The non-contact method in this study uses a toroid current sensor that utilizes Faraday's Law with a 1: 350 winding ratio. The current and voltage results along with the power factor produce measurable quantities of electric power. Power factor measurement is done by utilizing current and voltage sensors by reading the phase difference between the two. The non-contact method was used in this study because the method has the ability to measure electrical load with high electric current value. Each installed sensor has a k value in the calibration process for voltage, current and power factor 146,78; 2,32; and 1.23 respectively from the calibration result. Loads that have been tested are resistive, inductive and combination loads. The results of the load test compared directly with the wattmeter of the contact method show an error with a large value predominantly at the inductive load reading where the smallest error is 7.0% and the largest is 10.2%. For testing on resistive load errors ranged from 2.0% to 6.8% and at combinations loads between 4.3% and 6.7%. From these results it is concluded that the tools that have been designed with such methods can be used in carrying out electrical power measurements but less recommended in inductive load measurements. Sensitivity level of the sensor can be increased by increasing the ratio of the coil as a current sensor.

Keywords: Wattmeter, Active Power, Reactive Power, and Power Factor

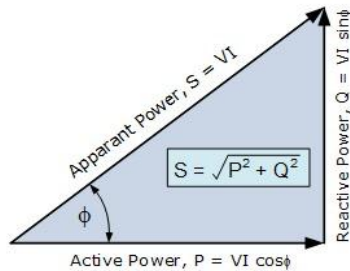
PENDAHULUAN

Daya listrik sebagai besaran fisika yang erat kaitannya dengan distribusi energi listrik keberadaanya menjadi kebutuhan primer bagi masyarakat saat ini. Pemantauan daya listrik yang digunakan oleh masyarakat perlu diperhatikan ketelitian dan keakurasiannya. Sistem pencatatan data pemakaian energi listrik yang dilakukan Perusahaan Listrik Negara (PLN) selama ini masih dilakukan secara manual dengan *personal data entry* walaupun sistem secara otomatis telah dilakukan untuk beberapa pelanggan (Sukarman dkk., 2009). Pengukuran energi listrik yang dilakukan PLN dalam prakteknya menggunakan kWh meter di mana dalam suatu kWh meter terdapat wattmeter atau alat ukur daya listrik dalam

dua tipe yaitu analog atau digital. Alat ukur daya listrik tersebut mampu mencatat dengan baik pemakaian daya listrik rumah tangga maupun industri dengan fasa tunggal maupun tiga fasa dengan sumber arus bolak-balik.

Pengukuran daya listrik AC dalam istilah teknis dapat dibagi menjadi tiga sub-komponen yaitu daya aktif, daya semu, dan daya reaktif. Dalam istilah fisis daya aktif adalah daya nyata yang dipakai oleh beban, daya reaktif adalah daya akibat karakteristik pembabanan dan daya semu adalah hasil akumulasi kedua daya tersebut. Instrumen pencatat energi (akumulatif dari daya dan waktu) berupa kWh meter analog mampu mengukur daya aktif dengan baik namun tidak cukup baik dalam pengukuran daya reaktif (Wibisana, 2008).

Penelitian oleh Wibisana (2008) mengenai karakteristik pembebanan menunjukkan bahwa karakteristik beban mampu menggeser fasa arus dan tegangan suatu sumber listrik arus bolak-balik. Pengukuran daya listrik dengan menggunakan kWh meter analog yang mengandalkan prinsip elektromekanik juga memiliki kerugian akibat gesekan pada piringan sehingga memperbesar kemungkinan munculnya kesalahan pembacaan. Analisa secara eksperimen dan teoritik untuk monitoring daya aktif atau daya terpakai, daya semu atau daya efektif beban, dan daya reaktif atau daya akibat karektiristik beban telah dilakukan (Franky, 2008) dengan hasil yang menunjukkan daya reaktif yang timbul akibat karakteristik beban mampu dikurangi dengan kombinasi beban lain seperti induktif-kapasitif untuk memperbaiki nilai faktor daya sehingga mampu mengurangi daya reaktif yang terukur.



Gambar 1. Segitiga daya (<http://allaboutcircuit.com>)

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu dapat diilustrasikan ke dalam sebuah segitiga siku-siku dengan sisi miring sebagai daya semu, salah satu sisi siku sebagai daya nyata, dan sisi siku lainnya sebagai daya reaktif seperti pada gambar 1. Lain halnya jika beban listrik bersifat induktif ataupun kapasitif (beban reaktif), nilai dari daya nyata akan menjadi sebesar $\cos \phi$ dari daya total.

$$P = S \cos \phi \quad (1)$$

$$P = V_{ef} I_{ef} \cos \phi \quad (2)$$

ϕ adalah besar sudut pergeseran nilai arus maupun tegangan pada grafik sinusoidal listrik AC. ϕ bernilai positif jika grafik arus tertinggal tegangan (beban induktif), dan akan bernilai negatif jika arus mendahului tegangan (beban kapasitif). Pada kondisi beban reaktif, sebagian daya nyata juga terkonversi sebagai daya reaktif untuk mengkompensasi adanya beban reaktif tersebut. Nilai dari daya reaktif (Q) adalah sebesar $\sin \phi$ dari daya total.

$$Q = S \sin \phi \quad (3)$$

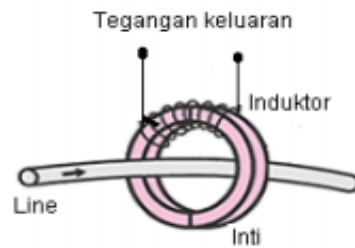
$$Q = V_{ef} I_{ef} \sin \phi \quad (4)$$

Sesuai dengan hubungan segitiga di atas maka hubungan antara daya nyata, daya reaktif dan daya semu dapat diekspresikan ke dalam sebuah persamaan pythagoras.

METODE

A. Rancangan Penelitian

Prinsip kerja transformator merupakan teori yang mendasari pengukuran arus dengan metode ini yaitu dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik.



Gambar 2. Pengukuran arus metode fluks (Melipurbowo, 2016)

Transformator memiliki prinsip kerja di mana jika suatu kawat atau kumparan pada suatu inti logam dialiri oleh arus listrik bolak-balik, maka akan timbul perubahan fluks magnetik yang akan menginduksi kumparan sekunder pada sisi lain inti logam yang akan timbul arus listrik pada kumparan sekunder. Prinsip ini didasarkan pada induksi elektromagnetik yang dikenal sebagai hukum Faraday, di manaperumusannya sebagai berikut:

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (5)$$

dengan N adalah banyaknya lilitan dan $\frac{d\phi}{dt}$ adalah perubahan fluks tiap satuan waktu. Makna dari persamaan tersebut adalah GGL induksidapat dibangkitkan melalui perubahan fluks magnetik. Induksi elektromagnetik tersebut menginduksi lilitan sekunder dengan nilai yang proporsional dengan kumparan primer. Penelitian yang telah dilakukan oleh Sukarman dkk (2009) menunjukkan rancangan alat ukur detektor fasa menggunakan dua buah komparator yang diinput dalam sebuah gerbang logika berjenis X-OR (exculsive-OR). Dengan metode tersebut gelombang output dari arus dan tegangan berupa gelombang sinusoida akan diubah menjadi gelombang persegi, di mana pulsa gelombang persegi tersebut yang berstatus 0 dan 1 akan dibaca oleh gerbang X-OR mengingat gerbang logika tersebut hanya membaca nilai 1 dan 0. Gerbang logika X-Or memiliki konfigurasi nilai kebenaran yang tertulis pada tabel berikut:

Tabel 1. Tabel kebenaran gerbang X-OR

Input		Output
A	B	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

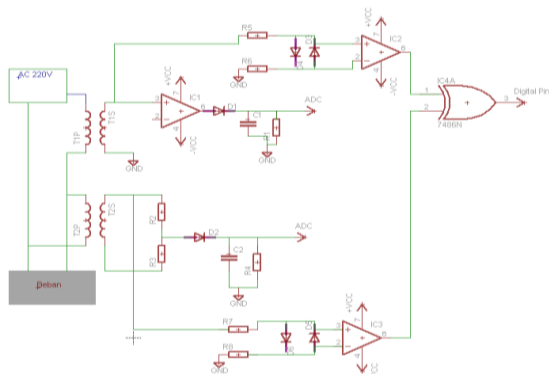
Tabel tersebut menunjukkan keluaran gerbang X-OR terhadap dua input masukan. Dari gerbang tersebut dapat

diartikan bahwa jika masukan A dan B bernilai sama maka nilai keluarannya bernilai 0 (low). Dengan memanfaatkan keadaan ini, maka beda fasa antara arus dan tegangan dapat dideteksi dengan aturan jika gelombang arus dan tegangan sefasa maka nilai output 0 (low), dan jika berbeda nilai output 1 (high). Dalam satu gelombang penuh nilai 1 (high) akan bergantung pada derajat perubahan fasa yang dapat diketahui dengan waktu berlangsungnya nilai high tersebut. Nilai 1 (high) akan terukur dalam orde milisecond dan gelombang terukur dalam radian. Dari aturan di atas, maka untuk dapat mendeteksi beda fasa persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Sudut} = (\text{Input}) \times 360 \times \text{frekuensi} \quad (6)$$

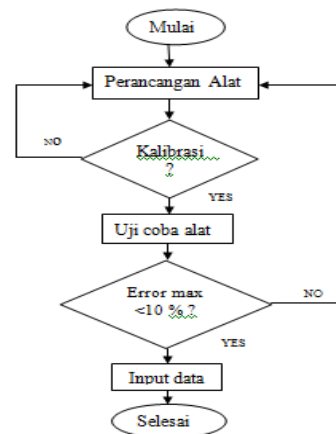
$$\text{fasa} = \cos\left(\frac{\text{Sudut}}{57.29577951}\right) \quad (7)$$

Di mana sudut yang terdeteksi tidak lain adalah nilai sudut beda fasa yang terdeteksi yang dikonversi dalam bentuk radian yang kemudian diambil nilai cos-nya. Nilai cos diambil karena jika sudut bernilai maksimum, maka nilai $\frac{\text{Sudut}}{\text{Radian}}$ adalah 3,14 di mana nilai cos dari 3,14 adalah 1. Hal ini didasarkan pada nilai untuk faktor daya yang memiliki rentang 0-1.



Gambar 3. Skema rangkaian alat rancangan

Gambar 3 merupakan skema rangkaian alat rancangan yang dapat dibagi mejadi 3 blok komponen penting, yaitu blok merah yang menunjukkan rangkaian sensor dan pengkondisi sinyal arus, blok biru yang menunjukkan pengkondisi sinyal sensor tegangan serta blok hijau menunjukkan detektor fasa.



Gambar 4. Diagram alir perancangan alat penelitian

Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir rancangan yang dilakukan dalam penelitian ini di mana terdapat *feedback* pada saat kalibrasi dan error untuk memastikan ketelitian alat hasil rancangan.

B. Variabel Operasional Penelitian

Terdapat tiga variabel yang melingkupi penelitian ini yakni variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respons. Variabel kontrol penelitian ini adalah sumber tegangan yang digunakan yaitu sumber tegangan berasal dari listrik yang didistribusikan oleh PLN. Variabel manipulasi dalam penelitian ini adalah beban resistif, beban induktif dan beban campuran. Variabel respons adalah daya nyata atau daya aktif dan faktor daya. Dari ketiga variabel tersebut selanjutnya akan dilakukan pengolahan data berupa perbandingan antara alat rancangan dan alat uji.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data yang akan diambil merupakan data primer di mana akan dilakukan pengukuran langsung pada skala laboratorium. Peralatan yang akan digunakan akan dikondisikan atau dikalibrasi dengan peralatan yang sudah standar dan pengukuran akan dilakukan dalam jangka waktu yang relatif singkat namun hasil semaksimal mungkin. Data diambil dengan memasang alat yang telah dikalibrasi bersamaan dengan alat ukur daya listrik konvensional pada umumnya. Data akan secara langsung diinput tiap waktu tertentu berdasarkan tabel berikut:

Tabel 2. Tabel contoh pengambilan data daya beban

No	Faktor Daya Beban Resistif		Faktor Daya Beban Induktif		Faktor Daya Beban Kombinasi	
	Pagi	Malam	Pagi	Malam	Pagi	Malam
1.	0,99	0,99	0,44	0,4	0,99	0,99
2.	0,99	0,99	0,44	0,4	0,99	0,99
3.	0,99	0,99	0,44	0,4	0,99	0,99
4.	0,99	0,99	0,44	0,4	0,99	0,99
5.	0,99	0,99	0,44	0,4	0,99	0,99

Data hasil pengukuran akan dicatat tiap 5 menit sekali selama 40 – 2 jam dan secara otomatis akan diinput ke *user interface* (UI). Daya yang terukur untuk masing-masing beban akan akan diakumulasikan dengan data tabel faktor daya berikut:

Tabel 3. Tabel pengambilan data faktor daya beban

No.	Daya Beban Resistif (Watt)		Daya Beban Induktif (Watt)		Daya Beban Campuran (Watt)	
	Pagi	Malam	Pagi	Malam	Pagi	Malam
1	20,61	19,48	15,44	14,21	31,29	33,29
2.	20,58	19,43	15,51	14,33	31,31	33,17
3.	20,64	18,70	15,54	14,26	31,16	33,10
4.	20,65	19,30	15,52	14,33	31,22	33,21
5.	20,62	19,35	15,31	14,22	31,14	33,18

Data pengukuran faktor daya akan diproses bersamaan dengan data masing-masing daya dan akan ditampilkan pada LCD yang secara bersamaan akan dicatat dan diinput pada *Personal Computer* (PC) yang tersedia.

D. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data akan dilakukan setelah beberapa data yang terkumpul sudah memenuhi kriteria tertentu seperti jangka waktu saat tegangan sumber stabil, karena tegangan sumber akan berubah seiring perubahan waktu. Hal ini sangat wajar mengingat bahwa penggunaan daya listrik pada waktu tertentu sangat besar sehingga terbagi ke jala-jala yang lain. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran antara daya listrik dengan faktor daya akan secara langsung dibandingkan dengan data hasil pengukuran dengan wattmeter dan cosphi meter berbasis metode kontak. Data yang telah diperoleh dari masing-masing faktor daya dan pengukuran daya kemudian dikalkulasi dengan persamaan (1), (2), (3), dan (4) yang terprogram dan diinput dalam mikrokontroler. Dari kalkulasi daya dan faktor daya akan secara langsung dibandingkan dengan hasil pengukuran wattmeter konvensional beserta dengan karakteristik masing-masing beban. Daya nyata terukur dari daya sebenarnya yang digunakan sebagai kerja. Selisih dari pengukuran alat rancangan dan wattmeter acuan akan dilakukan peruntukan secara grafik dan akan ditarik kesimpulan dari hasil pengukuran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi

Proses kalibrasi alat ukur hasil rancangan adalah dengan membandingkan besaran terukur oleh alat rancangan dengan alat acuan yang telah terkalibrasi yaitu multimeter untuk pengukuran arus dan tegangan listrik, dan *power factor* (pf) meter untuk faktor daya. Proses kalibrasi tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai *k* sebagai konstanta proporsionalitas untuk masing-masing besaran terukur sehingga memenuhi persamaan berikut :

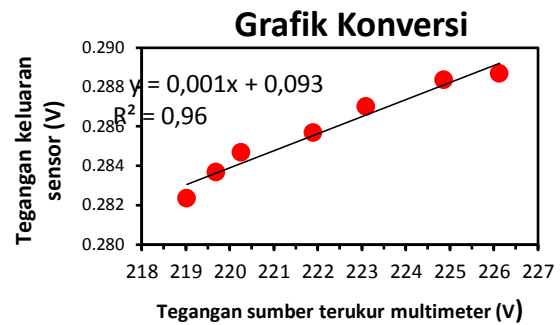
$$I_p = k \cdot V_s \quad (4.1)$$

$$V_{\text{trafo}} = k \cdot V_{\text{DC}} \quad (4.2)$$

$$pf_{\text{wattmeter acuan}} = k \cdot pf_{\text{wattmeter alat}} \quad (4.3)$$

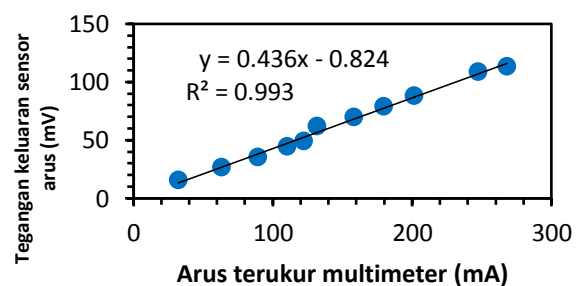
di mana masing-masing *k* menjadi faktor kalibrasi pada sensor tegangan, arus dan detektor fasa.

A. Sensor Tegangan

**Gambar 5.** Grafik konversi tegangan

Gambar 4.4 merupakan grafik konversi tegangan, di mana sumbu *y* adalah tegangan keluaran sensor dan sumbu *x* adalah tegangan sumber yang terukur multimeter. Saat *x* bernilai nol, maka tegangan keluaran sensor adalah 0,093 V. Berdasarkan persamaan linieritas pada Gambar 4.4, maka rumus konversi tegangan adalah
$$V_i = \frac{V - 0,093}{0,001}$$

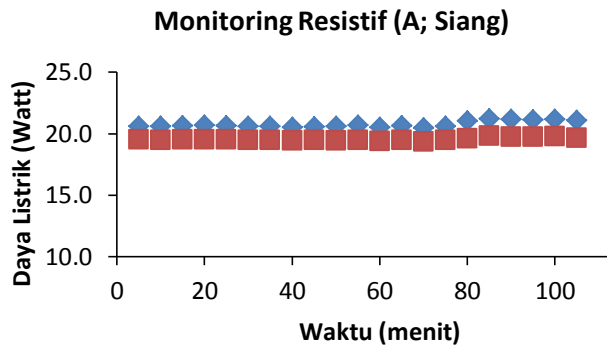
B. Sensor Arus

**Gambar 6.** Grafik hubungan arus terbaca multimeter dan arus output sensor

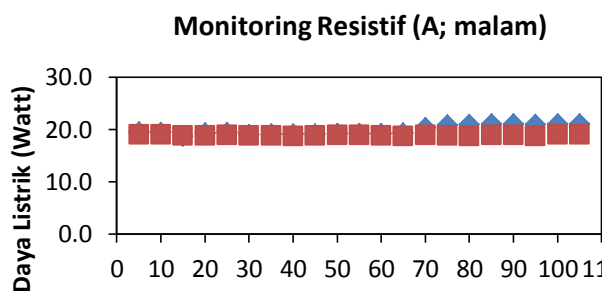
Hubungan antara arus yang terbaca multimeter dengan arus keluaran dari sensor ditunjukkan oleh Gambar 4.5 tersebut di atas, di mana sumbu *y* adalah tegangan keluaran sensor arus dan sumbu *x* adalah arus yang terukur multimeter. Berdasarkan grafik yang telah didapatkan tersebut, maka didapatkan persamaan linearitas sebesar $y = 0,436x - 0,824$. Hal ini menunjukkan rumus konversi untuk nilai arus dari

rentang nilai di atas adalah $I = \frac{V+0,824}{0,436}$ di mana I adalah arus dan V adalah tegangan.

4.3.1 Beban Resistif

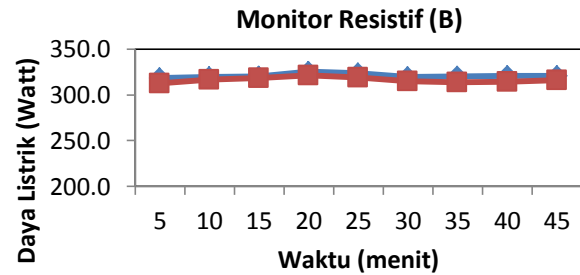


Gambar 7. Grafik hubungan nilai daya (P) hasil keluaran dari alat rancangan dengan nilai daya (P) hasil keluaran wattmeter untuk beban lampu pijar (A; siang). (Biru=Wattmeter Acuan; Merah=Wattmeter Alat)



Gambar 8. Grafik hubungan P wattmeter dan P alat (A; malam)

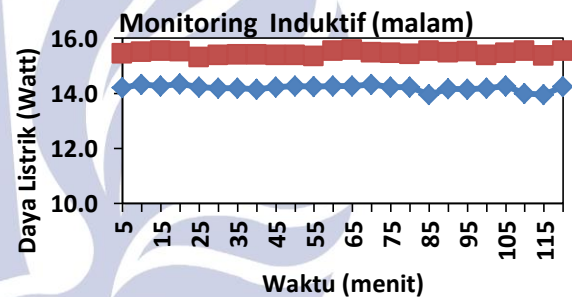
Gambar 7 dan Gambar 8 merupakan grafik hubungan hasil respons yang diperoleh dari wattmeter hasil rancangan dengan wattmeter uji dalam rentang waktu 0 – 105 menit. Pada Gambar 7 menunjukkan kinerja wattmeter di mana titik merah menunjukkan hasil pembacaan wattmeter hasil rancangan dan titik biru menunjukkan pembacaan wattmeter acuan yang hasil rancangan yang dibandingkan langsung dengan wattmeter acuan. Hasil pengujian menunjukkan terdapat selisih pembacaan antara keduanya dengan rata-rata selisih 1,21 Watt dengan selisih tertinggi 1,43 Watt pada menit ke-90. Pada gambar 4.9 menit ke-5 hingga menit ke-65 memiliki nilai error terbesar 3,06 % yang menunjukkan alat hasil rancangan pada rentang waktu tersebut memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik. Gambar 8 juga menunjukkan terdapat penyimpangan yang terjadi dimulai pada menit ke-70 hingga menit ke-105. Penyimpangan ini terjadi pada pengukuran malam hari yang dapat disebabkan oleh *noise* beberapa alat listrik di sekitar sensor yang belum bisa dikontrol sehingga mengganggu sensitivitas sensor. Dengan kondisi tersebut, maka error pembacaan terbesar terjadi pada saat timbul penyimpangan yaitu dengan nilai error 10,71 %.



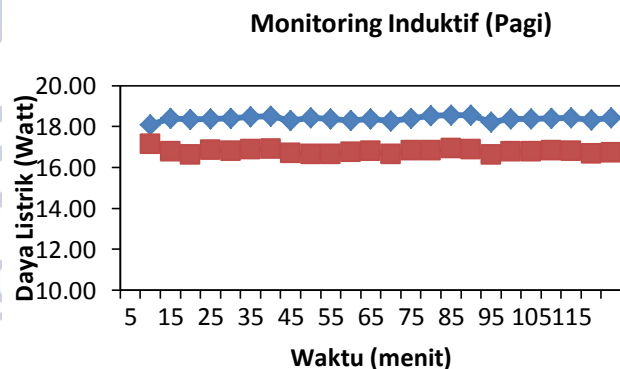
Gambar 9. Grafik hubungan P alat, P wattmeter terhadap waktu

Pada Gambar 9 beban yang digunakan adalah setrika listrik dengan spesifikasi 300 Watt. Dari hasil pembacaan oleh alat rancangan maupun wattmeter uji tampak bahwa beban mengkonsumsi daya lebih dari 300 Watt. Pada pembacaan daya listrik pada beban ini juga memiliki nilai faktor daya = 1, di mana memiliki arti seluruh daya listrik yang disalurkan diubah menjadi panas dengan nilai daya antara 300 – 350 Watt. Selisih pembacaan oleh kedua wattmeter maksimum adalah 6,34 Watt sehingga error pembacaan maksimum oleh alat rancangan pada beban ini sebesar 1,98%.

4.3.2 Beban Induktif



Gambar 10. Respons beban induktif (malam)

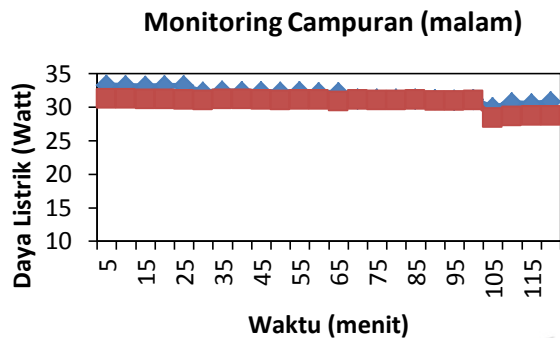


Gambar 11. Respon beban induktif (Pagi)

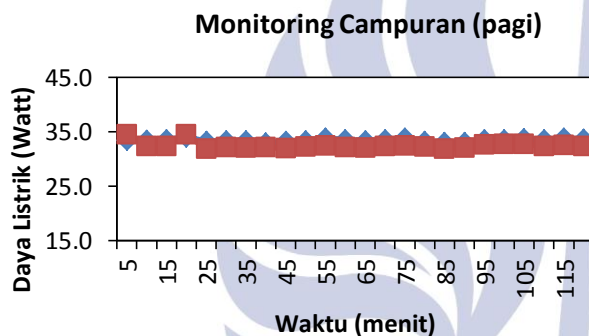
Pada Gambar 10 error terbesar terjadi pada menit ke-85 di mana terjadi selisih pembacaan 1,58 Watt sehingga memiliki nilai error 10,19. Pada Gambar 11 selisih pembacaan terbesar antara kedua wattmeter adalah 1,75 Watt dengan error pembacaan 9,5%. Dari pembacaan beban induktif pada dua waktu yang berbeda menunjukkan selisih pembacaan masih lebih dari 1 Watt sehingga mengakibatkan error pembacaan lebih dari 7%. Dari kedua hasil pengukuran tersebut (pagi dan malam) beban induktif merupakan beban yang memiliki nilai

selisih dan error yang paling tinggi diantara beban lainnya. Pembahasan mengenai hal ini akan dijelaskan berikutnya.

4.3.2 Beban Kombinasi



Gambar 12. Grafik respons beban kombinasi (kipas angin: motor AC) pada pengukuran malam hari



Gambar 13. Grafik respons beban kombinasi (kipas; pagi)

Gambar 12 menunjukkan selisih terbesar pembacaan sebesar 2,06 Watt dengan error pembacaan 6,7%. Gambar 13 menunjukkan selisih terbesar pembacaan 1,46 Watt dengan error pembacaan 4,3%. Dari nilai selisih pembacaan dan nilai error yang didapatkan pada kasus ini beban kombinasi memiliki error antara 0,14 % - 6,7 % yang selanjutnya akan dibahas pada pembahasan.

Pada pengukuran arus di atas 1 ampere nilai error berada pada kisaran 0,65 - 1,9 %. Berdasarkan data tersebut, untuk pengukuran arus di bawah 100 mA error yang didapatkan hingga berada pada >10 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor jenis ini memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan pengukuran arus bernilai tinggi seperti hasil yang diperoleh Firzatama (2015) di mana sensor CT yang digunakan baik untuk pengukuran arus tinggi. Penelitian yang dilakukan Adityawarman (2014), Firzatama (2015), dan Sukarman., dkk (2009) memanfaatkan sensor CT dengan tipe YHDC SCT-013 dengan rasio kumparan toroida 1 : 1800 menunjukkan tingkat keakuratan pembacaan terendah 10 mA dan maksimum arus 30 Ampere.

Pengukuran daya di bawah 20 Watt memiliki data dengan error yang mendominasi. Dengan keadaan

tersebut wattmeter hasil rancangan dapat dikatakan cukup sesuai untuk pengukuran daya >20 Watt dan arus >100 mA mencapai tidak lebih dari 10 %. Dari hasil yang diperoleh tersebut menunjukkan sensor yang digunakan tidak cocok untuk pengukuran arus rendah. Untuk pengukuran arus rendah dengan menggunakan jenis sensor tersebut dapat diperbaiki dengan memperbanyak rasio lilitan sensor seperti yang dilakukan Sukarman (2009) yang menggunakan sensor dengan rasio lilitan 1 : 1800 sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan rasio lilitan 1 : 350. Sesuai hukum Faraday untuk skala laboratorium jika nilai N untuk lilitan diperbesar, maka tegangan induksi yang terbentuk akan semakin besar yang umumnya dengan orde 10^3 . Rasio lilitan yang digunakan memiliki orde dua (10^2) dengan alasan praktis yaitu sensor yang dibuat adalah *handmade*. Selain itu sensor orde tiga umumnya berukuran besar sedangkan penelitian ini mengkondisikan agar alat hasil rancangan dapat digunakan secara praktis.

PENUTUP

Simpulan

Error terbesar terjadi pada pembacaan beban resistif yaitu 10,71 %, namun pada beban jenis ini hanya terjadi tiga kali error dengan kisaran error 10% diakibatkan hal yang telah dibahas sebelumnya. Pada pengukuran arus di atas 1 ampere nilai error berada pada kisaran 0,65 - 1,9 %. Berdasarkan data tersebut, untuk pengukuran arus di bawah 100 mA error yang didapatkan hingga berada pada >10 %. Hal ini menunjukkan bahwa sensor jenis ini memiliki kemampuan yang baik dalam melakukan pengukuran arus bernilai tinggi seperti hasil yang diperoleh Firzatama (2015) di mana sensor CT yang digunakan baik untuk pengukuran arus tinggi.

Pengaruh pembebanan pada pembacaan secara signifikan terjadi pada beban induktif dengan rentang 5,3 % - 9,5 %. Hal ini dapat disebabkan oleh sensor sendiri mengingat sensor yang digunakan merupakan beban induktif jika terpasang sebagai beban listrik. Pengaruh pembacaan semakin terlihat saat pengukuran dengan beban induktif lainnya sehingga mengakibatkan pembacaan daya listrik memiliki error > 5%. Selain itu jumlah konduktor yang menjadi lilitan sensor menjadi faktor kedua yang menyebabkan error di mana pada penelitian yang dilakukan oleh Sukarman dkk. (2009) lilitan yang digunakan berasio 1 : 1800 sedangkan pada penelitian ini adalah 1 : 350 yang pada penelitian Sukarman dkk. (2009) hasil yang didapatkan pada memiliki error terkecil sebesar 4,44 %.

Saran

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sensor arus dengan rasio lilitan 1 : 350 dengan error yang telah dicantumkan di atas dengan kesalahan pembacaan pada beban induktif >5%. Dengan kondisi demikian

maka pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan rasio kumparan sehingga konversi tegangan-arus memiliki nilai konstanta yang kecil sehingga tegangan keluaran sensor sesuai arus terukur. Faktor lain yang baiknya diperbaiki ialah metode deteksi fasa gelombang di mana ada baiknya menggunakan *zero crossing detector* dengan tipe H1AA11 dan CT-opto yang merupakan sensor optokopler dengan akurasi tinggi dalam pembacaan beda fasa dan arus listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Draxler, K. and Stybikova, R. 2015. Calibration of AC Clamp Meters. *IEEE Instrumentation and Measurement*, doi:10.1109/TIM.2015.2507413, pp. 1-7
- Franky. 2008. *Pengaruh Kesetimbangan Beban Tiga Fasa Terhadap Hasil Pengukuran*. Skripsi Sarjana. Teknik Elektro UI. Tidak dipublikasikan. pp. 1-52.
- Mäkinen, S. 2014. Toroidal Coil in Measuring Alternating Current at a Distance. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. <http://dx.doi.org/10.4236/jemaa.2014.612037>, pp. 367-371
- Melipurbowo, B. G. 2016. Pengukuran Daya Listrik Real Time Dengan Menggunakan Sensor Arus ACS.712. ORBITH, Vol.12, pp. 17-23.
- Nassisi, V., and Side, D.D. 2016. Modified Rogowski Coil for Detection of Fast Plane. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2017.01.033> 0168-5, pp 1-4.
- Ripka, P. 2010. Electric Current Sensor. *Measurement Science and Technology*, doi:10.1088/0957-0233/21/11/112001, pp. 1-23.
- Sukarman., Khoiri, M., dan Setiawan, S. 2009. Rancang Bangun kWh Meter Digital berbasis Mikrokontroler. *Seminal Nasional V SDM Teknologi Nuklir*. ISSN 1978-0176. Yogyakarta. pp. 333-342.
- Wibisana, B. S. 2008. *Analisis Perbandingan Pembacaan kWh Meter Analog dengan kWh Meter Digital pada Kesetimbangan Beban*. Skripsi Sarjana. Teknik Elektro UI. Tidak dipublikasikan. pp.1-51.
- Firzatama, P., Kirom, M. R., Iskandar, R. F. 2014. Perancangan Wattmeter Digital AC berbasis Mikrokontroler ATMega 32 untuk Daya Maksimal 1200 Watt. *E-Proceeding of engineering* : Vol.2, no. 1. ISSN: 2355-9365. Jakarta. pp 547-554.
- Adityawarman, D., Rahajo, Y., Hakim, L. 2014. Rancang Bangun Alat Ukur Arus menggunakan Transformator Arus berbasis Mikrokontroler ATMega 32. *ELECTRICIAN – Jurnal rekayasa dan teknologi elektro*. Lampung
- Gupta, A., Thakur, R., Murarka, S. 2013. An Efficient Approach to Zero Crossing Detection Based On Opto-Coupler. *Int. Journal of Engineering Research and Applications* ISSN : 2248-9622, Vol. 3, Issue 5, Sep-Oct 2013. Bhopal. pp.834-838.
- Zhao, S., Yang, S., Lu, S., Chen, M., Su, M. 2016. Method for online measurement of optical current transformer onsite errors. *Measurement Science and Technology*, Volume 2, Number 2. Nanjing